卵にみる生体の防御機構

一 島 英 治 Eiji ICHISHIMA

東京農工大学農学部農芸化学科

地球上に存在する動物、植物、微生物にみられる生命現象に“統一性”のあることが知られるようになったのは、近々ここ 100 年間のことである。この“統一性”という考えを支えている主要な思想体系⁽⁶⁾として、次の 3 つのものを考えることができるであろう。

すなわち、まず C. Darwin と A. R. Wallace による自然淘汰を基礎とする進化論(1858 年)では、現在地球上に存在する多様な生物が、20 億年といわれる長い年月をかけて共通の祖先から分かれてきたことを統一的に説明している。次に、G. J. Mendel による遺伝法則(1866 年)では、特定生物種に蓄えられたその祖先からの遺伝の蓄積である遺伝情報を、子孫に伝達する一般的機構が説明されている。第 3 に、J. M. Schleiden と T. Schwann による細胞学説(1838 年)をあげることができよう。これは、生命の基本的な単位が細胞であるという点において、生物界の統一性を示したものだといえよう。

以上のような考え方を背景として、発達してきた生物の持つ生命(生命体)への理解から、現在のところその共通点⁽⁴⁾を次のように要約できるであろう。

1) 生命体は、変化する外部の環境に対して、それら生物の内部環境をできるだけ一定の、しかも最適の状態に保とうとする。この内部環境をまもる最も基本的な生命体の単位は細胞である。

2) これら生物は、生長に必要な物質や、生きていくためのエネルギー源を外部環境からとり入れ、そして不必要なものや老廃物を外部に排除する。植物に限らず、動物、微生物も、複雑な食物連鎖の過程こそあれ、利用

するエネルギーは究極のところすべて太陽エネルギーに依存している。

3) 生命体は生殖によって新しい生命を創り出す。

ところで、このような特徴を持つ生物には、自己の生命ならびに自己の子孫をのこすための防御機構が非常に巧妙に、そして複雑にはりめぐらされている。この防御機構は、先述のように長い進化の過程を経て、それぞれの生物に固有にそなわってきたものである。本稿では、生命が最も単純な形で濃縮されていると考えられる卵、ことに鶏(*Gallus gallus domesticus* Brisson)の卵⁽¹⁻³⁾に焦点をしばって、生体防御の機構を考えてみた。

卵 細 胞

生体防御の機構を考える前に、生命の基本的単位である細胞、ことに卵細胞について少し考えておこう。細胞とは、半透膜で限界され、他の生物系の存在しない媒体中で自己増殖しうる生物活性の単位といえることができるだろう。この中には、一般的には 1 個の核 nucleus とこれをとりまく細胞質体 cytosome、そしていろいろな細胞器官が存在している。

ところで、種々の生物の細胞の大きさを比較してみると、ほとんどの細胞は $0.5 \sim 20 \mu$ の範囲にはいてしまいが、大きなものではダチョウ(*Struthio camelus camelus* L.)の卵のように半径が 20 cm もある巨大細胞⁽⁶⁾もある。また、最小の細胞を持つものとしては、pleuropneumonia-like organism (PPLo) と呼ばれていた原発性異型肺炎(primary atypical pneumonia, PAP)

の病原体であるミコプラズマ *Mycoplasma pneumoniae* などのように、直径 100~125 nm^(5,6) 程度の特異的なものがあげられる。

一般の鳥類の卵は、ダチョウほどではないにしても、巨大細胞であるといえる。それは、胚の発生のために必要な大量の栄養物と水とをその中に貯えているためである。受精卵（有精卵）では（一般には精子と卵子と結合の結果生まれた細胞を受精細胞ともいっているが）、発生が開始すると同時により小さい細胞に分割されてしまう。

卵殻にみられる生体防御機構

1. 卵 殻

鶏卵は、鋭端と鈍端を含むいわゆる卵形をした殻（卵殻）によって外側が囲まれており（図 1）、卵殻は大別すると、クチクラ、卵殻、卵殻膜からなる 3 様の異なった層からなっている（表 1）。鶏卵のうち卵殻の占める割合は、卵殻膜を含めると、卵重 50~60 g の普通の卵の場合、その重量の 10~12% である。卵殻の厚さは 0.2~0.4 mm（日本の卵では 350 μ 前後）で、多数の気孔が存在している。

卵殻の表層はケラチン様タンパクからなるクチクラの薄い膜が覆っている。このクチクラの主成分はケラチン様タンパクであるが、シスチン含量が約 3% と少なく、ヘキソサミン、ガラクトース、マンノース、フコースなどからなる多糖を伴っている。この膜の状態は、細胞にみられる生体膜とはまったく異なり、無構造である。また、この膜は洗えばすぐとれるし、破れやすい膜ではあるが、産卵直後の卵への微生物の侵入を阻止するのには役立っている。

次の層である卵殻は、炭酸カルシウム（約 95%）を主成分とし、炭酸マグネシウム（約 1%）、リン酸カルシ

図 1 卵の内部構造

表 1 卵殻部各層の有機物の化学組成⁽⁷⁾

成 分	全有機物中の%		
	クチクラ (約 10 μ)	卵 殻 (約 350 μ)	卵 殻 膜 (約 50~60 μ)
全 窒 素	15.94	15.01	15.54
ヘキソサミン態N	0.24	0.46	0.11
それ以外のN	15.70	14.55	15.43
ヘキソサミン	3.06	5.83	1.45
中 性 糖 (ガラクトースとして)	2.87	3.57	1.97
ウ ロ ン 酸 (グルクロン酸として)	0	1.45	0
エステル型硫酸	0	1.10	痕 跡

()内は各層の厚さを示す。

ウム（1%以内）、リン酸マグネシウムなどを含んでおり、また微量ではあるが有機物も存在する。卵殻中のこの有機物は、タンパク質とコンドロイチン硫酸 A および B を含むムコ多糖からなり、糖成分としては、ガラクトース、マンノース、フコース、ガラクトサミン、グルコサミン、イゾロン酸、グルクロン酸などを含んでいる。一方、卵殻中のタンパク質は、動物軟骨中のコンドロイチン硫酸と結合した非コラーゲン態タンパクなどと類似している。

ところで、卵の内部構造を保持するために、また風圧など外部からの物理的な力に対する防御の機構として、卵殻のこの形状が果たしている役割は大きい。卵殻の強度は、卵殻の厚さ、つまりカルシウムを主体とした無機成分の量に依存している。そして、後述する卵殻膜が卵殻に密着したままの状態にあることが、卵殻の機械的強度をより高くしている。卵重 60 g の鶏卵を押碎して破壊するためには、4.1 kg の重量が必要である。鶏卵の鋭端と鈍端を親指と人差し指ではさんで卵を割ることができる人は大変な豪傑といわれるゆえんである。

卵殻の強度は、鶏の品種、年齢、産卵の季節、飼料など種々の条件によって変動するが、飼料による条件を除くと、産卵の季節による変動が最も著しく、暑くなるにつれて卵殻は薄くなる。それは、暑くなると鶏の呼吸数が増えて血中の炭酸ガスが減少することにより、炭酸カルシウムの沈着が低下するためと考えられている。一方、飼料中のカルシウムに対する依存性も高く、⁴⁵Ca を用いた実験によると、卵殻中のカルシウムの 60~75% は直接飼料から供給され、⁴⁵Ca は与えてから 15 分後には卵殻中に認められる。

2. 卵殻膜

卵殻膜は 50~60 μ の厚さを持つ膜で、卵殻の内層に密着している。この膜は内外二層の膜よりなっていて、卵の鈍端部ではこの二層が分離してその間に気室をもうけている。外側の膜の外層はケラチン、内層はムコ多糖類似物から、また内側の膜はケラチンおよびムコ多糖からの二層からなっている。

一般に、卵からのオボケラチン ovokeratin は、鳥の砂嚢中のコイリン coilin、動物神経組織から得られるニューロケラチン neurokeratin などとともに、擬ケラチンとわいれる一群に属している（これに対して、毛髪、羊毛、羽毛、角、爪などのケラチンは真正ケラチンに属するが、両者はいずれも普通の溶媒には溶けない）。卵殻膜のケラチンのシスチン含量は、羽毛のケラチンよりやや少なく 6.2% である。

擬ケラチンはタンパク分解酵素によりわずかに分解されるが、他のタンパク質に比べるとはるかに高い抵抗性を持っている。一方、真正ケラチンは、胃ペプシン、膵臓トリプシンなどのタンパク分解酵素に対してはまったく安定である。ケラチンが作用を受けるタンパク分解酵素はケラチナーゼ作用を持つ特殊の一群の酵素であるが、このタイプの酵素を分泌する微生物、動物組織などは少なく、*Trichophyton granulosum* や放線菌 *Streptomyces fradie* などの微生物に知られているにすぎない⁽⁹⁾（なお、毛糸や毛皮などを食べる昆虫の消化液中にはケラチナーゼが含まれている）。したがって、卵殻膜がケラチンよりなることは、通常のタンパク分解酵素のみを生産する微生物では卵の中に侵入しにくいということであり、そこに一つの防御機構が働いていることを示している。なお、まだくわしい研究はないようであるが、卵殻膜がタンパク分解酵素以外の酵素にも抵抗性を持っていることも想像される。

一方、ケラチンは、酵素に対する抵抗性が強いのみでなく、物理化学的にも丈夫な構造をとっている。それは、ケラチンを構成しているアミノ酸のうち含硫アミノ酸であるシスチンの含量が多いことによるものである。シスチンは -SS- 結合をとっており、タンパク質分子中で架橋構造をとってケラチン分子を安定化しているのである*（図2）。このように、ケラチン分子自体が物理化学的に安定であり、さらに卵殻膜に含まれるムコ多糖の層

図2 タンパク質中のジスルフィド結合とその還元による開裂

は、卵殻膜の維持、強度、柔軟さなどに大きく寄与しているものと考えられる⁽¹⁰⁾。

3. 卵殻と微生物汚染

生みたての鶏卵では、卵の内部にまで細菌が侵入して汚染していることはまれで、90%以上の卵は産卵時には無菌である。このように、本来は無菌であるはずの卵が、その後微生物によって汚染される様式は次の2通りに大別される。

ひとつは、生み落とされた卵が糞、鶏舎の床、洗滌水、取り扱い人の手、包装材料などに付着している菌によって汚染を受ける場合である。この場合、卵殻に付着する細菌は *Bacillus*, *Streptococcus*, *Micrococcus* などのグラム陽性の球菌、桿菌が主であり、グラム陰性の細菌は *Alcaligenes*, *Escherichia coli* などわずかしかな存在しない。研磨機にかけて卵の表面の汚物をとった一見清浄のようにみえる卵は、かえって細菌数が多い。それは、卵殻表層のクチクラ層を無理に傷つけることと、後述するように卵殻を湿った状態におくことによるためである。すなわち、卵殻を洗浄することによって湿った状態になると、卵殻の気孔を通して細菌が容易に卵殻内層に達することができるようになり、菌は増殖する。卵の洗浄水の温度が卵のそれよりも低いと、卵の内部が減圧状態になるために、微生物汚染の危険はさらに増大する。この場合、卵殻ならびに卵殻膜を通過する細菌はグラム陰性

* この分子中の -SS- 結合を硫化ナトリウムやチオグリコール酸などの強力な還元剤で人工的に還元すると、-SS-鎖は開裂しケラチンの性質が変わってしまう。たとえば、羽毛ケラチンをメルカプトエタノールを含む 50% エタノールで処理すると可溶化できる。赤外スペクトルによる解析の結果、この可溶化した抽出ケラチンには、 α -ラセン構造の存在が認められた。また、この抽出ケラチンは、大豆からユバを作る手法を用いると皮膜化する。この皮膜化によって、皮膜化ケラチンは β -構造に転換している⁽⁹⁾。

菌のほうが多い。グラム陰性菌の中には、好冷細菌に属するものもあり、卵を冷蔵しても *Pseudomonas*, *Proteus*, *Achromobacter*, *Salmonella* などの菌が卵殻から侵入すると、卵を腐敗に導く。

しかしながら、卵殻表面からの微生物の侵入があっても、後述するように卵には卵白という堅固な防御のとりでが幾重にもひかえているので、卵殻膜内面から先に侵入することは容易ではない。

微生物汚染の第2のケースは、卵の微生物汚染のうちで最も危険な感染型食物中毒（胃腸炎）の原因となるサルモネラ *Salmonella* 菌によるものである*。親鶏がサルモネラの感染を受けているときに、卵巣および産道に病原体が侵襲することがある。このような場合には、一見健康な卵を産んでいるようにみえても、菌が卵の中で繁殖を始めていることがある。わが国では、1950 年ごろまでは鶏が感染したサルモネラ菌としては *Salmonella enteritidis* (Gärtner 菌または腸炎菌という、D 抗原群に属す) が多かったが、その後外国との交流が多くなったために、*S. typhimurium* (D 抗原群)、*S. thompson* (C 抗原群)、*S. senftenberg*, *S. bareilly*, *S. choleraesuis*, *S. paratyphi* B など、多様な菌がみられるようになってきた。

卵白にみられる生体防御機構

1. 物理的な防御機構

鶏卵の断面図 (図1) に示したように、胚盤を持つ卵黄 egg yolk は、これをとりかこむ卵白 egg white によって卵の中心部に安置されている。ここで注目すべきことは、卵白が一定の粘度と、そして自然の摂理の巧妙さを示す層状構造 (後述) をとっていることが、卵黄を保護するためにきわめて重要であるという点である。この卵白の性状は、卵の鮮度低下とともに急激に失われていく。

卵黄は、その中心を通る卵の長軸上の線上にあって、

* サルモネラ菌はグラム陰性菌に属し、抗原構造によって2,000 近い菌型に分類されているが、食中毒をひき起こすのはそのうちほんの一部の菌型である (サルモネラ菌は比較的低い加熱温度で容易に死滅する性質を持っている)。

サルモネラ食中毒は 10^7 個以上の大量の菌を嚥下した場合に起こり、12~24 時間の潜伏期の後発病する。中毒症状は頭痛、腹痛、悪心、嘔吐、下痢と体温上昇を伴って急激に発症する。なお、ヒトにチフス症を起こすのもサルモネラ菌に属す一部の菌型の菌 (チフス菌、パラチフスA菌およびB菌) によるものである。

カラザ chalazae-strain といわれる卵白の一部が、卵黄の長軸上の鈍端側と鋭端側のそれぞれの方向にひっぱりあって卵の中心部に安定させている。カラザのうち鋭端の方向にのびているものは2本の糸がからみあったようになって、卵黄膜と濃厚卵白の間を直接結びつけている。また、鈍端の方向にのびているものは、やはり卵黄膜に根を張ったように附着し、他の一方は鈍端側の気室に接している外水様卵白の間で、1本の糸がねじれているような様子を示しながら、卵黄と卵白を結びつけている。濃厚卵白は、鋭端、鈍端のいずれの側も外水様卵白を介さずに卵殻膜と直接結合している。

卵白は、大まかには3層になって卵黄を包んでいる。鋭端と気室の一部の卵殻膜の部分を除いて、卵殻膜のすぐ内側を粘度の低い外水様卵白 (thin albumen または watery albumen) がすっぽりと内部の濃厚卵白 (thick albumen または firm albumen) の層を包んでいる。この濃厚卵白の層はさらにその内側に内水様卵白の層を包んでいる。これら的大別すると3層からなる卵白の層も、おのおの層はさらに多くの層に分かれている。

このような卵白の構造は、胚盤を持つ卵黄が外界からの種々の振動や衝撃に対して耐えられるように、卵黄の上下左右に巧みな耐振構造を配置しているのである。

卵黄を卵の中心部に位置させるために重要な働きをしている濃厚卵白は、産卵直後には卵白のうち約60% を占めるが、日がたつにつれその割合は減少し、粘度が低下して水様化する。このような濃厚卵白の水様化は、比重の軽い卵黄を卵の中央部に位置させることを困難にするので、その結果、卵黄が卵白中に浮上して直接卵殻に接するようになる。そうすると、構造上からも、また後述するように生化学的にも、微生物、酵素に対する抵抗性が減少し、汚染されやすくなる。以下、この水様化について若干考えてみよう。

産卵直後の卵白の pH は7.5 付近にあるが、1日後には8 付近となり、その後は次第に上昇して9~9.5 付近にまでなる。これは、卵の中にとじ込められた炭酸ガスが卵殻外に逸散するためである。この pH の上昇と卵白中に生ずる -SH 基などの還元性の増加によって、オボムチンその他のタンパク質と、後述する溶菌力を持つ酵素リゾチームとの結合が弱められる。この機構をもう少し詳しくのべると、濃厚卵白中には、糖含量約50% のオボムチンが存在している。この成分はオボグロブリン

G₁であるリゾチームと相互作用をして、濃厚卵白に特有なゲルの網目構造をつくっている。濃厚卵白の存在は微生物の侵入をことさら防止している。ところが、産卵後、日がたち pH が上昇するにつれて、糖含量の多いオボムチンがそれまで結合していた糖含量の少ないオボムチンとの結合から遊離し、水様卵白部に移るため、リゾチームとの相互作用が失われ、ゲル構造も失われる。その結果、濃厚卵白が水溶化することになる。

表 2 卵白と卵黄の成分組成⁽¹⁾

	卵 白	卵 黄
卵中の平均重量 (g)	32.9	18.7
N (%)	1.77	2.7
P (%)	0.018	0.588
S (%)	0.195	0.016
水 (%)	87.9	48.7
固 形 物 (%)	12.1	51.3
タンパク質 (%)	10.6	16.6
炭 水 化 物 (%)	0.9	1.0
脂 肪 (%)	0.03	32.6
灰 分 (%)	0.6	1.1

2. 生化学的防御機構

卵白は卵の全重量の約 60% 弱を占めている。そのうち水分が約 88% であり、残りの約 12% が固形分である。この固形分の 80% 強がタンパク質で (表 2)、このタンパク質は水溶液の状態では卵白を構成している。卵白に含まれているタンパク質とその特性を表 3 にまとめた。

卵白は、pH が 8.0~9.6 と高いこと、微生物が利用しやすい形の非タンパク態窒素が非常に少ないこと、そしてリボフラビンなどがタンパク質と結合した形として存在していることなどのために、微生物の生育にとって好ましい環境とはいえない。しかも、卵白中にはリゾチームのように微生物を溶菌する酵素タンパクや、コンアルブミン、アビジンといった微生物の発育を阻止するタンパク質が含まれている。また、たとえ微生物が侵入したとしても、その生産するタンパク分解酵素によって卵白タンパクが消化されないように、タンパク分解酵素の活性を阻害するオボムコイドなどの各種のタンパク質が卵白のなかに含まれている。これらのタンパク質は約 60~65% が糖タンパクであり、このものは一般に、タンパク分解酵素に対して抵抗性を持ち消化されにくいことが知られている⁽¹¹⁾。

表 3 卵白タンパク質の組成と特性

タンパク質	含有量 %	等電点	分子量 × 10 ⁻³	特 性
オボアルブミン	60~65	4.58	43.8, 45.5	糖と燐を含有, A ₁ , A ₂ , A ₃ の 3 成分がある。
コンアルブミン	14	6.8	87	1 分子当り 2 原子の鉄と結合する。
オボムコイド	12~13	4.3	28	膵臓トリプシン活性の阻害。
リゾチーム (オボグロブリン G ₁)	3.5	11.3	14.8	ある種の細菌の溶菌。
オボグロブリン G ₂	4.0	5.5	30~45	
オボグロブリン G ₃	4.0	5.8		
オボムチン	1.5		7.6 × 10 ³	インフルエンザウイルスの赤血球凝集反応を阻害。
フラボプロテイン	0.8	4.1	35	リボフラビンと結合。
オボグロブリン	0.5	3.9	24	シアロタンパク。
オボマクログロブリン	0.5	4.5~4.7	760~900	
オボインヒビター	0.1	5.2	44	膵臓キモトリプシン活性の阻害。
アビジン	0.05	9.5	53	ビオチンと結合し不活性化。

図 3 溶菌酵素リゾチームの作用機構

A : Haworth の立体構造式による表現, B : 糖の立体配座による表現。
 NAM : N-アセチルムラミン酸, NAG : N-アセチルグルコサミン,
 ↓ : リゾチームによる切断点。

図 4 細菌 *Micrococcus lysodeikticus* の細胞壁ポリペプチドグリカンの構造模型⁽¹³⁾

本菌では *Staphylococcus aureus* の細胞壁に比べてルーズな網目構造をとっている。

X: N-アセチルグルコサミン, Y: N-アセチルムラミン酸, — 化学的結合, — N-アセチルムラミン酸を結びつけているテトラペプチド。

1) リゾチーム

リゾチーム⁽¹²⁾ lysozyme の存在は、1909 年に Laschtschensky が卵の白味が枯草菌 *Bacillus subtilis* を溶解することを見いだしたことに始まる。その後、ペニシリンの発見者である A. Fleming は、動物組織あるいは分泌物や、卵白中において、溶菌を起こす物質をリゾチームと名づけた。さらに、1963 年には、Jollès ら、Canfield らによって卵白リゾチームの一次構造が決められ、1965 年には D. C. Phillips らによって X 線による立体構造の解析がなされた。

鶏の卵白リゾチームは、129 個のアミノ酸からなる分子量 14,307 の塩基性単純タンパク質であり、等電点は 11 付近にある。このリゾチームは酸性 pH で安定で、アルカリ pH で不安定である。たとえば、2% 酢酸溶液中では 100°C、45 分間加熱しても溶菌活性は安定であるが、0.01 N NaOH 溶液中では室温でも 10 分で失活する。リゾチームは特定のグラム陽性菌を溶菌し、とくに *Micrococcus lysodeikticus* に対して効果がある。リゾチームの溶菌活性の最適 pH は中性付近にある。

リゾチームは、細菌細胞壁中のペプチドグリカン部の N-アセチルム

ラミン酸と N-アセチルグルコサミンとの間の β -1,4 結合を加水分解する(図 3) ことによって、細胞壁(図 4)を溶解する⁽¹³⁾。この酵素活性は、細胞壁構成成分である N-アセチルグルコサミンによって阻害される。

鳥類卵白リゾチームの溶菌作用は、ヒト由来のリゾチーム〔乳、涙、唾液、胎盤、血清(白血病)〕よりも強く、また基質である *M. lysodeikticus* に対する親和力も 2~4 倍ほど強い。

2) コンアルブミン

卵白に 12% 前後含まれているコンアルブミン conalbumin は、外水様卵白、濃厚卵白、そして内水様卵白にはほぼ等量ずつ分散している。このタンパク質は分子量 87,000 で、一部フラビンと結合して存在している。また、1 分子当たり 2 原子の鉄イオン (Fe^{2+}) と結合して安定な塩を作るという性質をもっており、鉄のほかに銅、亜鉛などの金属イオンとも結合することができる。コンアルブミンが鉄と結合すると、タンパク分解酵素、熱あるいはアルカリなどに対し抵抗性を持つようになる。

卵白中に細菌が侵入しても、生育に鉄が必要な細菌に対しては、コンアルブミンは菌の発育を阻止する力を持っている。コンアルブミンは、血清中に存在する β_1 -金属結合性グロブリン (β_1 -metal combining globulin, または transferrin, siderophilin) に類似した性質である。

図 5 ピオチンとピオチン酵素の触媒するカルボキシル化反応

5) オボムチン

卵白タンパク質の1~2%にあたるオボムチンovomucinはトリプトファン含量が多く、グルコサミンを約10%含む代表的な糖タンパクである。オボムチンの区分からは、ミキソウイルス myxovirus 群に属すインフルエンザウイルス (RNA ウイルス) による赤血球凝集反応を阻害する物質 virus hemagglutination inhibitor が分離されている。この物質は 31~37 S のタンパクで、電気泳動的には2成分からなる。この阻害は、このものが赤血球表面上の糖タンパクの糖部分とウイルスとの吸着を拮抗的に阻止するためと考えられている。したがって、卵白中には抗ウイルスの機構も組み込まれていると考えてよいだろう。

卵黄膜と卵黄

卵黄は卵黄膜によって包まれている。卵黄膜はきわめて薄い、卵黄と卵白を区別しているため、かなりの機械的強度を持っている。卵を割って平板の上においたときに、その卵黄の高さを卵黄の直径で割ったものを卵黄係数といい、産卵直後の卵の場合には卵黄膜の強度が高く、卵黄部のもり上りが大きい。ところが、日数がたつにつれて、卵黄部のもり上りが低くなり、卵黄係数の減少の状態は卵白の濃度、卵白の重量の比の変化と同じような挙動を示す。濃厚卵白の水様化と同様、卵黄膜を構成するタンパクに変化が起きているためと考えられる。

卵黄膜はムチン様タンパクなどから構成されており、

表 4 卵黄中のタンパク質組成

タンパク質	含量比		特 色
	高速遠心分離による	沈殿区分	
	上澄区分 77%	沈殿区分 23%	
リポビテリン	0	16	磷脂質を含むリポタンパク。 α -, β -2成分よりなる。
ホスビチン	0	3.7	磷脂タンパク質 (P, 10% 含有)。 全アミノ酸中31%がセリン、鉄と銅を含む。卵黄中鉄を運ぶ役目。 他のリポビテリンと複合体形成する。脂質 85% 以上を構成成分とする特殊リポタンパク質。
低密度リポ蛋白	54	2.8	卵黄の凍結変性の主因となるタンパク。ガラクトース、マンノース、グルコサミン、シアル酸などをわずかに含有。2成分よりなる。乳力強い。
リベチン	23	0	水溶性。 α , β , γ の3成分よりなる。血清タンパクに類似。
その他	0	0	

卵白に含まれるオボムコイドやオボムチンなどと同様に、ウイルスに対する防御作用や、また糖タンパクであることから、タンパク分解酵素に対する抵抗性があるものと考えられる。

卵黄は約 50% が固形物で、そのうちタンパク質は 16%、脂質 32%、無機成分 2%、炭水化物 1% が含まれている。卵黄膜にかこまれた卵黄の内層は、糖タンパク質が多く脂質が少ない白卵黄層と、糖タンパクが少なく脂質が多い黄卵黄層とが交互に包みあって8層からなる層状構造をなしている (図 1)。そして、中心部にラテブラを形成して、卵黄膜のすぐ下にある胚の位置とラテブラの首と呼ばれている部分を通し直接通じている。卵黄は、一度凍結すると解凍してももとの状態にはもどらない特性を持っている (表 4)。

卵黄タンパク質 (表 4) は分離精製が困難なために、それらの生化学的性質は卵白ほどにはわかっていない。卵黄タンパク質の特性は磷脂タンパク質が脂質と結合してリポタンパク質となっていることである。最も含量の多いリポビテリンの脂質はレシチンとケファリンとからなり、また卵黄中の磷脂タンパク質中の磷脂はセリンあるいは一部スレオニンと結合している。卵黄をエーテル抽出し、得られるビテリン区分をペプシンで消化した後の未消化区分には、磷と鉄を多く含んだヘマチビチン hemativitin と呼ばれる区分が得られる。これは、卵黄中にあって鶏胚のヘモグロビン形成に関係がある区分で、この区分が動物胃のタンパク分解酵素であるペプシンに対して抵抗性があるというのは興味深い。

卵黄を構成しているタンパク質と類似のタンパク質は血液に見いだされており、たとえば電気泳動的に3種に分けられる水溶性タンパクの α -, β -, γ -リベチンは、それぞれ血液中的血清アルブミン、 α _s-グロブリン、 γ -グロブリンである。

卵黄は卵白に比べて微生物の汚染を受けやすく、腐敗、変敗しやすい。卵殻から侵入した微生物が卵白層を通りぬけて卵黄部に達してしまえば、卵黄には微生物、酵素に対しての防御の機構があまりないので、このような卵はもはや孵化して生命を維持してゆくことはできなくなる。

孵 化

自然の状態では、鳥類は卵を産み落とすとすぐに卵を

図 7 发育鶏卵の模式図

A: 卵殻, B: 卵殻膜, C: 漿尿膜, D: 羊膜, E: 卵黄囊, a: 胎児, b: 卵黄, c: 漿尿液腔, d: 卵白, e: 胚外体腔, f: 気室。

抱きかかえるので、卵はただちに発生分化の過程に入る。ところが、鶏の場合は人間が卵を産む機能を重視し発達させてきたために、親鶏は産んだ卵のすべてを孵化させることができない。有精卵 fertile egg を鶏の体温に近い $38 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $65 \pm 5\%$ の状態におき、酸素の供給のために卵を反転させて卵の各部が均一に外周条件にさらされるようにすると、胚周辺の組織および卵黄、卵白が変化してくる。孵卵第1日目に胚盤は大きくなり胚の頭部の形成が始まり、第2日目で胚の形が明らかとなり、さらに発生分化が進み、約21日の孵卵ののちに雛が孵化する。雛として孵化するまでの間、卵殻は鶏胚を外部環境から遮断している。发育鶏卵の模式図を図7に示す。

発生については本稿の目的とするところではないので、以下のような簡単な記載のみにとどめる。

卵黄囊は卵黄を包み、その一端は胚の腸管と連絡し、羊膜、羊膜腔を形成して中に羊水を包み、胚をこれに浮かべた状態に保つ。漿膜は卵殻膜の直下にある胚内内容物全体を包む。尿膜は最初漿膜と卵黄囊の間に尿嚢を形成し、胚が発育するにつれて、尿嚢中に尿膜液を分泌しながら拡がり、一部は漿尿膜として漿膜直下の胚内内容物全体を包み、卵白を包む部分が卵白嚢となる。

卵黄囊の主要な役目は、血液をつくり、また内部の卵黄を吸収して胚に送ることである。羊膜は薄いが弾力性があり、中に包む羊水とともに胚を保護し、また羊膜腔は胚が卵白を吸収する経路となっている。尿膜および一部漿尿膜よりできている尿嚢は、胚の腎臓、そして排泄物の貯蔵庫であるとともに、卵殻膜に接して外気と通ずる胚の呼吸器官であり、また卵殻のカルシウムを胚に利用させるものである。これら胚体外膜組織は卵黄、卵白

からの栄養素の吸収、呼吸ならびに排泄などの物質代謝を司るため、いずれも血管網が発達している部分が多い。

*

生物が種族を残すためのしくみは実にうまくでき上がっている。胎生、卵生を問わず、動物、あるいは植物、そしてまた微生物においても、それらの生体防御の機構は非常に複雑である。生体防御に関する研究は、相互の関係が非常に複雑で、そして労を多く要するわりにはどちらかという地味な研究分野であったと思う。しかし、20億年という歳月をかけて、それぞれの生物に備わってきた生体防御の機構を研究することは、人類を含めて地球の生物が今後生きのびてゆくための重要なヒントをもたらしにちがいない。

本稿では、核酸レベルの損傷とその修復機構、あるいは親鶏の飼料に添加した化学物質の卵ならびに孵化した雛に与える影響とそれに対する抵抗性といった形での防御機構はとりあげることができなかった。

本稿をまとめるにあたり御教示いただいた東京都立川短期大学教授松岡博厚博士に感謝いたします。

参考文献

- 1) R.C. Warner: "The Proteins", Vol. II, ed. by H. Neurath and K. Bailey, Part A. Academic Press, N. Y., 1954, p. 435.
- 2) 野並慶宣: "鶏卵の化学と利用法", 地球出版, 1960.
- 3) 佐藤 泰: "総合食料工業", 桜井芳人他編, 恒星社厚生閣版, 1970, p. 732; 食の科学, No. 16, 34 (1974).
- 4) 窪田金次郎, 中村哲也: "生命のしくみ", 田宮信雄他編, 共立出版, 1970, p. 273.
- 5) A.G. Loewy & P. Siekevitz: "Cell Structure and Function", 佐藤 了他訳, "新生物化学", 化学同人, 1973.
- 6) 川名林治: "微生物学各論", 朝倉書店, 1973.
- 7) J.R. Baker & D.A. Balch: *Biochem. J.*, 82, 352 (1962).
- 8) H. Matsubara & J. Feder: "The Enzymes", Vol. 3, III rd. ed., ed. by P.D. Boyer, Academic Press, N. Y., 1971, p. 721.
- 9) 河野幸男, 渡辺 研, 岡本 繁: 農化, 48, 7 (1974).
- 10) 吉沢善作: "ムコ多糖実験法 I", 阿武喜美子, 長谷川栄一編, 南江堂, 1972, p. 1.
- 11) M. Belew & J. Porath: *Europ. J. Biochem.*, 6, 425 (1968).
- 12) 原 三郎: 生化学, 44, 146 (1972).
- 13) J.L. Strominger & J.-M. Ghayser: *Science*, 156, 213 (1967).
- 14) K. Ozawa & M. Laskowski, Jr.: *J. Biol. Chem.*, 241, 3955 (1966).
- 15) R. Vogel, I. Trautschold & E. Werle: "Natürliche Proteinase-Inhibitoren", Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1966; 鈴木友二ら訳: "蛋白質分解酵素インヒビター", 共立出版, 1974.
- 16) 庄司 宏, 伊藤利根太郎: "近代工業化学", 小田良平他編, 朝倉書店, 1969, p. 373.